

2 ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ

2.1.1 Высокочастотные вибросейсмические методические измерения*

В рамках программы разведки бокситовых месторождений, проводимых в ЭЛГИ, все большую роль играет сейсморазведка МОВ. Из-за неблагоприятных топографических обстоятельств выступило на первый план использование вибросейсмического метода. Задачи исследований сравнительно небольших глубин (200–400 м) требуют решения нескольких новых проблем. Самой важной задачей является достижение подходящего отношения сигнал/шум и разрешающей способности.

Для улучшения отношения сигнал/шум мы имеем несколько возможностей: при подходящем выборе параметров установки затухать станет собственный шум вибратора, а также интенсивность поверхностных волн глушения. Операция поперечной корреляции может вызвать ухудшение отношения сигнал/шум, во время которой вследствие фильтрационного эффекта почвы искаженные вибросигналы приведут к значительному увеличению локальных максимумов теоретического Клаудер-вавелета. Для уменьшения корреляционных локальных максимумов мы должны использовать такие вибросигналы, которые компенсируют фильтрационный эффект почвы: например, нелинейные или составные вибросигналы. Для большей разрешающей способности необходимо увеличивать среднюю частоту вибросигнала.

Для выполнения вышеуказанных требований необходимо иметь высокочастотные вибраторы и управляющую электронику, способную возбуждать нелинейные и составные вибросигналы. Эти требования выполняют электрогидравлические вибраторы ЭЛГИ типа Failing У-1100 СВ с управляющей электроникой типа Pelton Advance I Model 5. Полезный диапазон частот вибраторов — 8–255 Гц, управляющую электронику возможно запрограммировать, так что она пригодна для возбуждения любого вибросигнала.

Наши методические измерения выполнялись параллельно с измерениями МОВ разведки бокситовых месторождений в области Тюкрёшпуста-Вастей. Разрез Ve-4/84 сначала измеряли традиционными вибраторами,

* Гомбар Л., Дьёрдь Л., Таборски Д.

линейным вибросигналом граничной частоты 20–100 Гц, затем измеряли тот же самый отрезок разреза различными вибросигналами с теми же самыми параметрами установки (рис. 36/А, 36/В, 36/С). Разрез Ve–41/84 (рис. 36/В) измерили линейными вибросигналами, возбужденными высокочастотными вибраторами с граничной частотой 44–160 Гц, а разрез Ve–4.2/84 (рис. 36/С) — составным вибросигналом, состоящим из линейных вибросигналов с граничной частотой 25–73 Гц; 37–87 Гц; 50–100 Гц. Разрезы покажем раскрашенными по величине амплитуд, в виде временного разреза миграции.

По разрезам можно определить, что задание исследования разрешима по всем трем разрезам, т. к. поверхность триасового, доломитового основания на глубине 200–400 метров хорошо прослеживается. Но можно заметить значительную разницу среди разрезов по отношению сигнал/шум, а также горизонтальной и вертикальной разрешающей способностью. В большей части разреза Ve–4/84 (рис. 36/А) поверхность триасового фундамента прослеживается хорошо, а на отрезке разреза на глубине 1000–1300 метров — неуверенно. Расположение структурных элементов (сбросов) неопределенное за исключением сброса с сравнительно большим относительным серемещением в 450 метров. Комплексы в кровле триасовой толщи нерасчленены, мы указали только боковое отражение со сброса, проходящего параллельно с разрезом.

На разрезе Ve–4.1/84 (рис. 36/В) структурные элементы можно определить надежнее, но поверхность фундамента, а также разметка границ слоев покрывающей толщи неопределенные. Из-за очень сильных локальных максимумов границы слоев появляются не характерным отражением, а пакетом отражений. Это объясняется тем, что фильтрационный эффект от почвы больше заглушает высшие частоты, и линейный вибросигнал не компенсируя этого явления. Мы обнаружили, что эта область частот из-за фильтрационного эффекта от почвы сильнее затухает, таким образом, отражения, идущие с фундамента, наблюдались в пакетах. С целью вертикального разрешения — особенно в случае тонких слоев — энергию локальных максимумов обязательно нужно уменьшить.

Разрез Ve–42/84 (рис. 36/С) дает самую надежную информацию, т. к. выше поверхности фундамента, в перекрывающей толще мы можем проследить маломощную эоценовую толщу. Присутствие эоцена на поднятом крыле сброса 450 метров неопределено, может и отсутствовать. Глубина вторжения вибросигнала очень хорошее, так как мы можем следить за уровнем внутри фундамента, что дает хорошоснование для уточнения плоскости сбросов (уменьшение энергии внутри фундамента). Вертикальная разрешающая способность также улучшилась, т. к. составной вибросигнал компенсировал фильтрационный эффект от почвы и уменьшил энергию корреляционных максимумов.

В заключение мы можем установить, что наши измерения были удачными, дали ожидаемый результат, но в будущем для улучшения вертикальной разрешающей способности, помимо увеличения средней частоты сигнала, нельзя забывать о компенсации фильтрационного эффекта от почвы.

2.1.2 Система программ цветного цифрового плоттера COROLLPRESS*

С самого начала рутинного применения цветного плоттера COROLLPRESS (с 1981 года) в годовых отчетах также представлены цветные разрезы, демонстрирующие результаты сейсмических измерений. В этот раз представляется устройство цветного вывода и система программ, полученная в результате многолетних разработок.

Общее представление устройства: Плоттер содержит вращающийся барабан. Информация изображения записывается на обыкновенную бумагу или на дублируемую фольгу с помощью электромеханических пишущих головок, содержащих сапфировые ролики. Полученное изображение сразу высыхает, нет никаких дополнительных операций, срок хранения не ограничен. Максимальный размер изображения, определяемый размером барабана, в настоящее время — 600×400 мм. Время получения полного изображения — около 20 минут. Четыре пишущие головки (желтая, красная, синяя, черная) с помощью специальных красок аддитивным путем создают комбинацию цветов в каждой точке, соответственно управлению. Количество получаемых цветов и тонов является огромным. С помощью комбинации цветов на определенном участке бумаги получается большее количество информации, чем в черно-белом варианте, т. е. увеличивается удельное содержание информации. Установка и правильная работа плоттера контролируются в режиме TEST, без внешних вспомогательных пособий.

Области применения: каждая точка изображения управляется независимо от других точек, поэтому можно перевести в изображение произвольную информацию. Плоттер особенно целесообразно применяется для представления результатов геофизических измерений, вычерчивания карт изолиний, гистограмм, раскраски чертежей во всех областях промышленности, сельского хозяйства и исследований, где возникает необходимость одновременного изображения нескольких параметров. Плоттер целесообразно используется для графического представления результатов систем обработки изображений (например космических снимков), и также успешно применим для вычерчивания теплокарт в сельском хозяйстве и медицинских исследованиях.

* Грегуш Ш. И., Шанцл Р.

В рамках сотрудничества между ЭЛГИ и ЦГЭ**, подписанного в прошлом году, разрабатывается пакет геофизических программ, ЭЛГИ составляет программы в основном для графического представления результатов сейсмических измерений и обработок. В ЦГЭ дальнейшим направлением разработки программ является преобразование в растровый формат изображений, кодированных в формате векторного плоттера, а также совместное изображение результатов каротажных и сейсмических измерений.

В ЭЛГИ созданы программы для раскраски сейсмических сигналов по амплитуде или по частоте. Программа раскраски по амплитуде с помощью АРУ выравнивает большие разности, полученные из-за динамики, и выполняет сглаживающую фильтрацию. Сглаживающая фильтрация выполняется с помощью простого нормированного 3-точечного (0,25; 0,5; 0,25) фильтра, по формуле

$$\bar{A}_i = (A_{i-1} + 2A_i + A_{i+1})/4$$

Целью амплитудного выравнивания является создание среднего уровня амплитуд сигналов. Для этого трасса умножается на т. н. регулирующую функцию, она является обратным значением амплитудного хода трассы, умноженным на константу. Программа вычерчивает сглаженную, выравненную трассу, а раскраска выполняется по значениям исходных амплитуд. Обеспечена возможность нахождения максимума трассы, но возможно задать любой максимум. С помощью максимума трасса нормируется в диапазон между -1 и $+1$, и данные в формате плоттера по определенном масштабе цветов записываются на магнитную ленту (рис. 37).

Программа раскраски по частоте определяет мгновенную частоту волны по расстоянию между двумя переходами через нуль, и раскраска выполняется по этой частоте (рис. 38). При определении переходов через нуль определяются сечения сейсмической волны с осью X при переходе с положительной половины в отрицательную или обратно.

В обеих программах возможно совместное или отдельное представление положительной и/или отрицательной фаз(ы). Расстояние между трассами может меняться в желаемом масштабе. Волна оконтурена чёрным цветом, а цвет площади под волной определяется масштабом цветов, задаваемым параметрами. Цветовая легенда тоже выводится на рисунок, вместе с диапазонами цветов. Также возможны добавление шапки любого формата или запись произвольного текста, и обозначение маркера времени в цифровом виде.

** Центральная Геофизическая Экспедиция, Москва.

Подпрограммы вывода алфавитно-цифровой информации обеспечивают представление в трёх разных размерах (1,6 мм, 3 мм и 4 мм).

В связи с пространственными измерениями возникла необходимость изображения временных срезов (рис. 39). Отбираются данные трасс параллельных профилей, соответствующих определенным временам, и полученные данные представляются следующим образом. Каждому отсчету соответствует квадратик, цвет которого определяется значением отсчета, и задается с помощью параметров. Для создания правильного масштаба применяется растяжение по горизонтали (по X) и/или по вертикали (по Y). Коэффициенты растяжки являются вещественными числами, они независимы друг от друга. (Если коэффициенты меньше чем 1, то растяжение, в противном случае сжатие.) Растяжение/сжатие выполняется с помощью трехточечного интерполирующего полинома Лагранжа.

Также в пространственных измерениях возникает необходимость в вычерчивании карт перекрытий. В случае такого изображения цвет каждого квадратика определяется количеством глубинных точек, попадающих в данный диапазон (ΔX , ΔY). В этом случае также возможно изменение масштаба и произвольный выбор цветов (рис. 40).

На плоттере COROLLPRESS возможно равномерное смешивание трех основных цветов (желтый, красный, синий) и таким образом создание четырех новых цветов. Иногда требуется еще большее количество цветов, поэтому пришлось разработать метод для создания разных оттенков. Эта задача решена в ЦГЭ. Расположением большего или меньшего количества точек в данной области созданы девять оттенков каждого цвета. Наложением разных оттенков разных цветов возможно создать $9^3 = 729$ новых оттенков цветов (рис. 41). Расширение набора цветов значительно расширяет область применения плоттера.

Другой важной группой разработанных в ЦГЭ программ является разработка преобразования векторного изображения в растр. Соответствующая программа масштабирует, растягивает, сжимает, вращает, сдвигает по осям X и/или Y результаты векторного изображения (Бенсона). Следующая программа преобразует полученное векторное изображение в растровый формат, так что можно его вычерчивать на COROLLPRESS. Другая программа служит для вычерчивания карт, где оконтуренную замкнутой кривой область можно раскрасить 8 разными цветами. В этом случае также возможно выполнять перечисленные преобразования.

Для цветокодированного изображения сейсмических параметров служит программа DISC 1. Она выполняет двухразмерное изображение мгновенных сейсмических параметров (амплитуд, скоростей, частот, когерентностей и т. д.), записанных на магнитную ленту в виде трасс СЦС-3, с помощью легендой цветов, содержащей 32 цвета. Цветокодированный диапазон местных изменений параметров либо вычисляется программой

автоматически, либо задается внешними параметрами. Краткое описание алгоритма: программа статистически анализирует двухразмерное распределение параметра и определяет шкалу цветов, т. е. каждому из 32 оттенков соответствует определенный местный диапазон изменения параметра. После этого полное изображение, т. е. каждое значение параметра перекодируется в цвет, соответствующий шкале цветов. Далее, программа обеспечивает вычисление среднего значения изображенного параметра в окне времени по заданной граничной поверхности, и добавление его под изображением (рис. 42).

В интересах дальнейшего расширения возможностей применения планируется создание новых программ в рамках сотрудничества между ЭЛГИ и ЦГЭ.

2.1.3 Морская система сбора данных типа „Волна 96“*

Основой разработки сейсмической измерительной системы типа „Волна“ является система „SD-20“ управляемая микро-ЭВМ. Основные части системы типа „Волна“: система сбора данных типа SDA-III, которая представляет собой усовершенствованный вариант системы, разработанной для наземных измерений типа SDA-II.

При морских измерений время сбора данных значительно превышает время полевых измерений, поэтому система должна быть пригодной для серии измерений, которые продолжаются несколько часов или несколько дней. Этот факт изменяет методику записи данных измерений. Запись данных осуществляется с помощью накопителя на магнитной ленте. Для того, чтобы измерение было непрерывное, используются два магнито-ленточные устройства, смена которых происходит автоматически, чтобы обслуживание было легче. Для выполнения долго продолжающихся измерений важно требование стабильной работы системы, а при ошибке — быстрая локализация причины ошибки и ее устранение. Стабильность системы обеспечивается качественными элементами и успешной механической конструкцией. Перед началом измерений необходимо подробно и относительно быстро проверить состояние и работоспособность системы, что осуществляется с помощью тестовых программ. Определение причин и мест возможных ошибок значительно облегчается использованием тестовых программ. Они содержат тест памяти микро-ЭВМ „МО-51“, тест накопителя на магнитной ленте, установочный тест параметров „SDA-III“ и проверку кабелей. Состояние „SDA-III“ очень просто определяется с помощью следующих тестов: проверка отклонения нулевой точки, проверка отношения сигнал/шум,

* Месарош Ч.

проверка идентичности, проверка переходных затуханий, определение точности шагов усиления, проверка частоты точки перелома фильтров, проверка шума систем и проверка линейности и ошибки нулевой точки АЦП.

Проверка записи происходит визуально, с помощью аналоговой и мультиплексной картины. Имеется возможность одноканального печатания с помощью плоттера, подсоединенного к системе.

Для производства морских измерений требуется использование особых вспомогательных устройств. Гидрофоны — датчики давления расположены в пластмассовой трубке длиной в несколько километров, которая наполнена маслом. Разработку надо выполнить с учетом расстояния рецепторов от уровня воды. Поэтому эти данные глубины должны быть записаны вместе с сейсмическими данными. Устройство измерения глубины производит цифровой выходной сигнал, который записывается с помощью вспомогательного канала. Советское устройство измерения глубины выдает временно-мультиплексированные данные.

Для обработки измерительных данных необходимо цифровое преобразование и запись сигнала, возбужденного вибратором. В зависимости от глубины моря необходимо задерживать запись для более экономичного использования магнитных лент. За время задержки затухающий возбуждающий сигнал необходимо запоминать цифровым методом, чтобы был в наличии в начале записи данных. Запоминание осуществляется памятью емкостью из 4 К слов. Запись выполняется на вспомогательный канал. На начало измерений и на время выстрела влияют скорость и положение корабля. Навигационная система корабля дает точные временные данные к выполнению каждого выстрела. Работу системы показывает *рис. 43*. Дистанционное управление осуществляется с помощью микро-ЭВМ „МО-51“. Измерительные данные появляются на шине „TS“ (time sharing) и на этой же шине присоединяется устройство формирования формата для магнитной ленты. Движение ленты и состояние накопителя на магнитной ленте непрерывно контролирует „МО-51“. К шине „TS“ присоединяется цифровое устройство АРУ, на выходе которого появляется восстановленная, регулируемая временно-мультиплексное изображение измерительных данных с цифровой плавающей запятой, которую можно непрерывно контролировать осциллоскопом. В устройстве „SDA“ (разработка ЭГЛИ) располагается блок сопряжения плоттера (советская разработка), управляемое с микро-ЭВМ Электроника-60, которое тоже присоединено к шине „TS“. Если присоединить устройство сбора данных к рил-тайм системе обработки, то система обработки станет выполнять управление SDA-III и выстрелами. Усовершенствованием устройства сбора данных SDA-II, применяемого в полевой системе SD-20, максимальное число каналов увеличено на 96

(было 48), минимальное время выборки уменьшено с 1 мсек на 0,5 мсек, и при этом в устройстве SDA-II сохранены проверенные блоки АРУ и АЦП, которые по параметрам легко держать в руках. Реализованные числа каналов и времена выборки следующие:

число каналов	времена выборки
24	0,5, 1, 2, 4 мс
48	1, 2, 4 мс
96	2, 4 мс.

Увеличение скорости работы делается возможным путем мультиплексной работы двух параллельных измеряющих систем. Работа устройства „SDA-III“ можно понять на основе рис. 44.: на вход предусилителя через селекторы данных присоединяются либо гидрофоны, либо выходы внутреннего генератора. Первый каскад предусилителя симметричный, имеет непосредственный вход (гальваническая связь), переменный коэффициент усиления и ассиметричный выход. Коэффициент усиления может иметь значения 18, 24, 30, 36 дБ в зависимости от установки. Установка коэффициента усиления возможна в группах, состоящих из 24 или 48 каналов. После этого следует фильтр верхних частот, крутизна которого 24 дБ/окт., частота точки перелома — 5, 10 или 15 Гц, и ее можно установить на соответствующее значение путем управления. После этого следует фильтр пробка на 50 Гц, который можно включить/выключить, а дальше фильтр низких частот, который обеспечивает предельную частоту, соответствующую выборке. Крутизна этого фильтра — 72 дБ/окт., частота точки перелома устанавливается автоматически на значения 62,5; 125; 250; 500 Гц в зависимости от времени выборки. Управление фильтров и несколько других функций осуществляется блоком „установка параметров“. На вход цифровых АРУ сигналы измеряемого канала подаются через мультиплексоры низкого уровня. Коэффициент усиления АРУ может иметь значение $0 \leq E \leq 84$ дБ. Изменение коэффициента усиления может происходить шагом $\Delta E = 12$ дБ соответственно амплитуде измеренного сигнала. Разрешение блока АЦП 13 + 1 бит, его выходной сигнал присоединяется к шине „TS“ через формирователь сигнала. Здесь данные отдельных каналов следуют друг за другом во временных интервалах, соответствующих ленточному формату „SEG-B“. Описанный блок формирования сигналов (№ 6 на рис. 43) выполняет функцию синхронизации записи данных и согласования цифровых и аналоговых вспомогательных каналов.

Данные, появляющиеся на шине „TS“, подаются на вход блока сопряжения накопителя на магнитной ленте. Этот блок представляет полный магнеленточный формат или при воспроизведении представляет формат, соответствующий шине „TS“.

2.1.4 Совершенствование специального процессора с плавающей запятой*

В 1984 году продолжалось совершенствование специального процессора с плавающей запятой. При полевых испытаниях выяснилось, что надежность работы системы обработки значительно увеличивается, если использованный накопитель на магнитной ленте поменять на полупроводниковую память. Поэтому был разработан „электронный диск“. Его емкость в настоящее время может иметь значение с 1-го Мбайта до 16 Мбайтов. В планах имеется возможность для дальнейшего увеличения этой емкости до 32 Мбайта. С использованием „электронного диска“ помимо увеличения надежности работ уменьшилось время, необходимое для передачи данных, и так необходимая емкость запоминания при корреляционных процедурах уменьшилась наполовину, так как суммирование выполняется одновременно с запоминанием.

Усовершенствованный блок сопряжения специального процессора дает возможность разделить 16 битовых слов на байты. Специальный процессор стал способным к более быстрому выполнению процедуры обработки кадров, что стало необходимым в связи со внедрением фото и телевизионной техники и в исследование морского дна. Для этой цели использован усовершенствованный вариант арифметического устройства деления, которое способно к делению чисел с форматом как плавающей, так и зафиксированной запятой. Реализация деления с зафиксированной запятой дает возможность и деления ненормализованных чисел с плавающей запятой. Осуществленная до сих пор быстрая трансформация Фурье выполняет функцию преобразования комплексных блоков данных порядка 0,5 К, 1 К и 2 К из временного диапазона в частотный диапазон и обратно.

Необходимые времена преобразования следующие:

при 0,5 К	—	7 мс
при 1 К	—	16 мс
при 2 К	—	32 мс

В настоящее время происходит разработка быстрого преобразования Фурье для блоков данных порядка 4 К и 8 К.

Для выполнения корреляции операций быстрого преобразования Фурье была разработана функция комплексного умножения, выполняемая на блоках данных. Блок-схема специального процессора, реализующего описание операции, представлена на *рис. 45*.

* Элзнер М., Комьяты Й., Лазарович Дь., Мери Т., Пахи Л., Райнаи Р.

2.1.5 Сейсмические измерения в шахте с целью защиты от воды дорогских угольных шахт*

Основной проблемой дорогских шахт, дающих бурый уголь лучшего качества по всей стране, является прорыв воды. Прорыв воды, в первую очередь, можно ожидать из сильно закарстованного, состоящего из триасовых известняков и доломитов фундамента эоценового бассейна, поверхность которых тянется недалеко под свитой угольных пластов. Опасность прорыва воды сильно усиливают сбросы, длина которых часто превышает 100 метров и которые расчленяют фундамент бассейна на блоки. Таким образом, в случае разработки данной области, например, на XXI-й шахте Дорогской шахты, не только необходимо хорошо знать расположение закарстованных горных пород под выработками, но необходимо иметь сведения о расположении больших пограничных сбросов, поднимающихся высоко над выработками.

Для выявления расположения закарстованных горных пород, угрожающих прорывом воды, горняки располагают только исследованием с помощью бурения с поверхности или из шахты. Первый метод очень дорогой, а второй — само по себе действие, угрожающее прорывом воды особенно там, где необходимо считаться с таким большим давлением воды, которое имеется на глубоких уровнях дорогских шахт. Кроме этого, большим недостатком исследований при помощи бурения является то, что для скважин также необходимо выделить водосберегающий целик, который увеличивает количество оставляемого угля и усложняет проектирование выемок. Таким образом, число скважин для исследования закарстованных горных пород является ограниченным, и расположение поверхности известняка в многих случаях из-за неполной информации можно только оценивать. Этим объясняется то, что мы проводим эксперименты в первую очередь геофизическими методами, а не бурением.

После рассмотрения задания и шахт, являющихся местом измерений, мы решили применять сейсмический метод. В шахтных измерениях упругие волны от пункта возбуждения могут достигнуть сейсмоприемник четырьмя различными способами: в форме прямой волны, отраженной волны, преломленной волны, канальной волны. Различные шахтные сейсмические методы используют все четыре типа волн, но для исследования шахтного известняка с целью защиты от прорыва воды самым подходящим методом оказались обычные МОВ или КМПВ.

На XXI-ой шахте Дорогской шахты с 1982 года проводились шахтные сейсмические измерения МОВ и КМПВ с целью развития метода и геологических исследований. Во время измерений мы столкнулись с такими

* Бодоки Т., Циллер Э., Браун Л.

методическими проблемами, которые являются специальными шахтными проблемами. В случае МОВ, по сравнению с измерениями на поверхности, серьезным расхождением является то, что мы могли ожидать вступление не только с вертикального или почти вертикального направления, но практически с любого направления всего пространства. Таким образом, мы могли регистрировать чрезвычайно сложную и очень трудно объясняемую систему интерференции волн со всех концов пространства. Эту проблему мы старались разрешить на стороне источника с помощью использования принципа направленных волновых фронтов, на стороне сейсмоприемника — трехкомпонентной регистрацией и развывая „поляризационную“ обработку.

В случае измерения КМПВ проблемой являлось короткое расстояние выработок. Увеличивало трудности и то, что триасовая почва, покрывается эоценовым известняком, в котором очень быстро распространяются упругие волны, что значительно удлинило минимальные измерительные расстояния, необходимые для регистрации фундамента. Эту проблему невозможно было решить измерительной методикой, таким образом, измерения КМПВ мы использовали только в очень длинных выработках или для обнаружения близрасположенного фундамента.

Дорогское шахтное исследование известняка мы иллюстрируем двумя измерениями, измерением МОВ и измерением КМПВ. На *рис. 46*. показано измерение МОВ в 38-ой нарезной выработке XXI-ой шахты Дорогской шахты. Расположение северного пограничного сброса, который с северной стороны ограничивает выемку на глубоком уровне, нам было известно из двух глубоких скважин (D-297 и D-199). Маркшейдерское бюро в таких случаях придерживается принципа „максимальной безопасности“ и изобразило относительно плоскую плоскость сброса на основе указанных скважин. Во время выемки целик, защищающий от прорыва воды, нужно было выделить по отношению к этой отстроенной плоскости сброса.

Сейсмические измерения МОВ в 38-ой нарезной выработке показали, что на уровне измерений известняковая стена, т. е. плоскость сброса находится приблизительно на 25 метров дальше по сравнению с составленной. Таким образом, на основе скважины D-297 и сейсмических измерений стало возможным заново отстроить плоскость пограничного сброса, а это, в свою очередь, предоставило возможность точнее определить целики защиты от прорыва воды, таким образом, значительные запасы угля были выведены из целика.

На *рис. 47*. показаны наши измерения КМПВ в основной выработке горизонта — 120 XXI-ой шахты Дорогской шахты. Эти измерения объяснялись тем, что руководство шахты приняло решение очистки т. н. угольного пласта „С“, залегающего под основной выработкой. О

положении фундамента под основной выработкой маркшейдерское бюро имело представление только на основании боковой проекции данных сравнительно отдаленных, считая необходимой геофизическую проверку.

Результаты проведенных измерений КМПВ дали очень хорошее совпадение с тектоникой, т. е. с положением и характером сбросов на прежней карте поверхности известняка, но вместо предполагаемой глубины 30–35 метров показало только половину. Таким образом, руководство шахты отказалось от очистки пласта „С“, потому что это уже попадает в водохранительный защитный слой.

Исследования, проведенные в Дорогских шахтах, как это показывают наши примеры, открывают новые области перед шахтными сейсмическими измерениями и дают новые средства в руки шахтеров в борьбе против прорыва воды.

В таком смысле дорогские измерения мы считаем только началом, основой, накоплением опыта для дальнейших разработок.

2.2.1 Исследование поля влияния частотного зондирования*

Полевая практика частотного зондирования искусственным источником и интерпретация измерений вызывают необходимость уточнения наших знаний, связанных со следующей проблемой: каково поле действия наших измерений, происходящих по отдельным частотам, и как оно меняется с изменением частоты? С помощью испытаний, основывающихся на прежнем численном расчете основной горизонтально слоистой геоэлектрической модели [Prácser et al. 1983,] получена зависимость измеренных пространственных характеристик от глубинного распределения электропроводимости данной модели, и таким образом стало возможным исследование глубинной чувствительности измерительной установки. Но с помощью этой модели мы не получили ответа на то, какова зависимость результатов измерений от боковых изменений электропроводности.

Полный ответ на этот вопрос дается решением общей трехмерной прямой задачи. Так как эта задача пока еще не решена, решения, дающие частные результаты, тоже могут вызвать интерес. Следующее приближенное исследование действительно в том случае, когда изменение электропроводности в геоэлектрической модели мало, т. е. мы испытываем поле небольшого тела, слабо выделяющегося своими параметрами. Электродинамические расчеты для небольших тел применяются для случая, когда тело находится в однородном полном пространстве. При различных геометрических положениях возмущающего тела значения отнесенных друг к другу аномальных полей этого тела будут рассматриваться в плоскости, проходящей через дипольный источник перпендикулярно к его моменту. Предположим, что полученные таким образом значения не отличаются значительно от относительных значений, вызванных аналогичным телом, помещенным в однородное пространство. В расчетах и оформлении выводов плоскость магнитной дипольной петли передатчика мы будем упоминать и как поверхностную плоскость.

Рассмотрим нормальную или первичную модель с однородной средой

* Сигети Г.

с проводимостью σ_K при магнитном дипольном возбуждении. Решением этой модели являются значения $E^{(n)}$, $H^{(n)}$ в любой точке пространства. Пусть наша полная или вторичная модель состоит из тела T с проводимостью σ_T при том же возбуждении. Обозначив функцию, характеризующую тело T , через χ_T (т. е. если пространственная точка x — элемент тела T , то $\chi^{(x)}=1$, во всех других случаях $\chi^{(x)}=0$), то распределение пространственной проводимости вторичной модели опишет функция

$$\sigma = (1 - \chi_T) \cdot \sigma_K + \chi_T \sigma_T \quad (1)$$

(см. рис. 48). К модели, описанной функцией проводимости σ , принадлежат силовые поля, обозначенные E , H .

Дмитриев и Форзен [DMITRIEV, FARZAN 1980] для этой общей проблемы дают такой вывод, результатом которого получаем интегральное уравнение для E , H . Это интегральное уравнение содержит $E^{(n)}$ как известную величину. Его решение для случая трехмерного тела — очень сложная задача. При специальном типе возмущающего тела даем значительное упрощение, приходя просто к вычисленному конечному результату.

Уравнения Максвелла для полной модели при фиксированных частотах принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} E &= i\omega\mu H \\ \operatorname{rot} H &= \sigma E + j, \end{aligned} \quad (2)$$

где j — ток, протекающий в петле возбужденного диполя, а σ — выражение (1).

Та же самая система уравнений для нормальной модели:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} E^{(n)} &= i\omega\mu H^{(n)} \\ \operatorname{rot} H^{(n)} &= \sigma_K E^{(n)} + j. \end{aligned} \quad (3)$$

Вычитая из системы (2) систему (3), для аномальных полей $E^{(a)} = E - E^{(n)}$ и $H^{(a)} = H - H^{(n)}$ можно записать:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} E^{(a)} &= i\omega\mu \cdot H^{(a)} \\ \operatorname{rot} H^{(a)} &= (1 - \chi_T) \cdot \sigma_K E^{(a)} + \chi_T \{ \sigma_T E - \sigma_K E^{(n)} \}. \end{aligned} \quad (4)$$

В том случае, если второй член правой стороны второго уравнения системы (4) можно считать членом источника, пространство $E^{(a)}$, $H^{(a)}$ имеет собственный источник в однородном пространстве с проводимостью σ_K .

Пусть $(x_0 \in T)$ — любая пространственная точка. Рассмотрим $E(x_0)$ как функцию σ_T и T . Предположим, что T имеет достаточно маленький объем, чтобы $E(x_0)$ зависело только от объема ΔV и удельной проводимости тела T , т. е.

$$E(x_0, \sigma_T, T) = E_{x_0}(\sigma_T, \Delta V).$$

Предположим далее, что E_{x_0} имеет значение как функция двух переменных σ_T и ΔV , действительных вокруг точки $\sigma_T = \sigma_K$ и $V = 0$ таким образом, что полученная функция по меньшей мере дважды непрерывно дифференцируема вокруг точки $(\sigma_K, 0)$. Следующие отношения очевидны:

$$\begin{aligned} E_{x_0}(\sigma_K, \Delta V) &= E_{x_0}^{(n)} \\ E_{x_0}(\sigma_T, 0) &= E_{x_0}^{(n)} \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, из-за соотношений (5) в двухпеременном ряду Тейлора функции E_{x_0} отсутствуют первые производные, т. е.

$$E_{x_0} = E_{x_0}^{(n)} + \frac{\partial^2 E_{x_0}}{\partial \sigma \partial V} \Big|_{\substack{\sigma = \sigma_K \\ V = 0}} \Delta V (\sigma_T - \sigma_K) + \dots,$$

где неотмеченные члены по крайней мере в третьем порядке стремятся к 0. Таким образом, в уравнениях (4) при произвольной $x_0 \in T$ при условии

$$\Delta V (\sigma_T - \sigma_K) \ll 1 \quad (6)$$

можно записать $E_{x_0} = E_{x_0}^{(n)}$. То-есть по уравнениям (4) источником аномального пространства $E^{(a)}$, $H^{(a)}$ является плотность тока

$$j = (\sigma_T - \sigma_K) E^{(n)}$$

в отдельных точках тела T . А если мы в T считаем $E^{(n)}$ постоянным, а T является призмой сечением A , высотой dl , перпендикулярной $E^{(n)}$, тогда суммарный ток, протекающий через T ,

$$I = Aj = A(\sigma_T - \sigma_K) E^{(n)},$$

что по длине dl означает электрический диполь

$$M_e = dI = dIA(\sigma_T - \sigma_K) E^{(n)} = \Delta V (\sigma_T - \sigma_K) E^{(n)}$$

Таким образом, конечный результат следующий. Если тело удовлетворяет условию (6), то электрический диполь момента

$$M_e = \Delta V (\sigma_T - \sigma_K) E^{(n)} \quad (7)$$

является источником аномального пространства на месте тела. Следовательно, аномальное электромагнитное пространство можно вычислить в двух этапах. Сначала вычислим электрическое поле $E^{(n)}$, возбужденное в точке x_0 возмущающего тела магнитным диплем, помещенным в однородное полное пространство интенсивностью M_m в точке передачи x^A , а потом с этим значением вычислим поле EM в точке приемника, возбужденное электрическим диполем, помещенным в пространство с моментом M_e , рассчитанным на основе (7).

Рассмотрим теперь на основе (7) распределение магнитной пространственной составляющей $|H_z^2|$ магнитного дипольного источника, размещающегося в плоскости, принятой за дневную поверхность, в то

время как малоразмерное малококонтрастное возмущающее тело перемещается в плоскости S , перпендикулярной к дневной поверхности. Компоненту $E^{(n)}$ диполя, помещенного в полное пространство, получим в сферических координатах следующим образом:

$$E^{(n)} = E_{\varphi}^{(n)} = \frac{M_m}{4\pi} i\omega\mu \cos \alpha \frac{1}{r_1^2} (1 + \gamma r_1) e^{-\gamma r_1}, \quad (8)$$

где $\gamma = \sqrt{i\omega\mu\sigma_K}$ является моментом диполя передатчика. E_{φ} перпендикулярно к плоскости S , и таким образом магнитное поле, имеющее направление φ' в точке дневной поверхности и возбужденное электрическим диполем того же направления, как и E_{φ} , рассчитываемое по (7), получим по следующей формуле:

$$H_{\varphi'} = \frac{M_e}{4\pi} \frac{1}{r_2^2} (1 + \gamma r_2) e^{-\gamma r_2}. \quad (9)$$

Разъяснение геометрических параметров получим на рис. 48.

Вводим значение действительного индукционного числа $B = L\sqrt{\omega\mu\sigma_K}/2$, учитывая, что $H_z = H_{\varphi'} \cos \beta$ и что нас интересует абсолютное значение $H_z^{(a)}$, на основе (7), (8) и (9) получим, что

$$|H_z^{(a)}| = C \frac{1}{(r_1/L)^2} \frac{1}{(r_2/L)^2} \cos \alpha \cos \beta \cdot \sqrt{\left(1 + B \frac{r_1}{L}\right)^2 + \left(B \frac{r_1}{L}\right)^2} \sqrt{\left(1 + B \frac{r_2}{L}\right)^2 + \left(B \frac{r_2}{L}\right)^2} e^{-B \frac{r_1}{L}} e^{-B \frac{r_2}{L}} \quad (10)$$

где

$$C = \frac{M_m(\sigma_T - \sigma_K)\omega\mu\Delta V}{16\pi^2}.$$

На рис. 49 можно увидеть значения аномального пространства $|H_z^{(a)}|$, вызванного в точке приемника возмущающим телом, перемещаемым в плоскости S , содержащей передатчик и приемник и перпендикулярной к дневной поверхности, таким образом, что значения, измеренные в приемной точке, отметим в той точке, где находится центр возмущающего тела. Точнее, на рисунках мы отметим не аномальные пространства, а соотношения аномальных пространственных значений, вызванных возмущающим телом, находящимся в центре отрезка, соединяющего передатчик и приемник. Таким образом, распределения на рисунке независимы от параметров коэффициента C формулы (10). Рассматривая рис. 49, относящийся к индукционному числу $B = 0,33$, мы можем сделать следующие выводы:

- а) аномальные поля возбуждающих тел, располагающихся симметрично относительно плоскости, перпендикулярной к отрезку, соединяющему передатчик и приемник, совпадают;

- б) вблизи от дневной поверхности, по мере приближения возмущающего тела к передатчику (приемнику) эффект очень большой, например, в поверхностной точке $r_1=L/10$ — 7,66-кратное по сравнению с эффектом в точке $r_1=L/2$;
- в) возмущающее тело, расположенное под передатчиком по вертикальной прямой, не вызывает никаких аномалий;
- г) из возмущающих тел, расположенных на глубинах, достигающих $1/3$ или большую долю расстояния между передатчиком и приемником, самый большой эффект оказывают те, которые находятся в плоскости, делящей отрезок передатчик–приемник пополам.

Если предположим, что задачей является доказательство присутствия возмущающего тела, тогда область, границами которой являются горизонтали, относящиеся к различным значениям рис. 49, показывает, что область какого размера и какой формы можно охватить измерениями на данной частоте. Если минимальный эффект, измеряемый нашим прибором, $1/e=0,37$ от доли эффекта, вызванного возмущающим телом, находящимся в точке симметрии на дневной поверхности, тогда можно установить, что при индукционном числе $B=0,33$ эта область состоит из эллипсообразного тела, находящегося под передатчиком-приемником на глубине приблизительно $0,4L$, и из двух меньших тел шириной приблизительно $0,3L$, которые простираются за пределы приемника.

На рис. 50. мы изучаем только зависимость от индукционного числа области, ограниченной этой горизонталью $0,37$. Можно уточнить, как углубляется и расширяется исследуемая область с уменьшением числа индукции. То-есть на меньших частотах кроме передатчика и приемника нужно рассчитывать на значительный боковой эффект при интерпретации кривых частотного зондирования. Мы планируем продолжение исследований с перемещением возмущающего тела в пространстве. Таким образом можно уточнить разрешающую способность частотного зондирования с расположением точек в направлении простираения и падения геологических структур.

2.2.2 Физическое моделирование частотного электромагнитного зондирования индуктивным возбуждением*

В разведке твердых полезных ископаемых Венгрии, прежде всего бокситов и каменных углей, уже годами успешно применяется частотное электромагнитное зондирование индуктивным возбуждением. В случае

* Чато Б., Гемеш М., Кардеван П., Прачер Е., Сарка Л.

горизонтально слоистых моделей отдельные характеристики электромагнитного поля могут быть определены подходящей точностью при помощи математического моделирования. В случае разных двумерных и трехмерных структур описание полного электрического поля становится очень сложным, напряжения поля могут быть рассчитаны — за исключением некоторых специальных приближений — только цифровыми способами, требующими много машинного времени. Так для изучения искажающего влияния приповерхностных неоднородностей и разрешающей способности метода более успешно применяется физическое моделирование. На первом этапе были проведены измерения над двуслойными и трехслойными моделями, частью как проверка аппаратуры.

Измерения были проведены в г. Шопрон в Лаборатории Электромагнитного Моделирования, организованной совместно Геодетическим и Геофизическим Институтом Венгерской Академии Наук, Геофизическим Предприятием Венгерского Нефтегазового Треста и Геофизическим Институтом им. Этвеша Лоранда. В лаборатории раньше уже были моделированы частотные электромагнитные зондирования кондуктивного возбуждения, профилирования, магнитотеллурические измерения и съемочные методы постоянного тока. Последние были изложены в Годовом Отчете ЭЛГИ за 1980-ый год.

В данной модификации частотного электромагнитного зондирования измеряется отношение вертикального и горизонтального составляющих магнитного поля, а при обработке измерений рассчитываются кривые зондирования в координатах кажущееся удельное сопротивление — кажущаяся глубина. Для моделирования полевых измерений в 1983-ем и 1984-ом годах была разработана новая измерительная система, которая — при почти полном исключении передачи высокочастотных сигналов (средняя частота 10 кГц) и при автоматизированном накоплении сигналов — позволяет точное проведение многих частотных зондирований в относительно широком частотном диапазоне (20 кГц—6 МГц, *рис. 51*). Усилитель мощности, питающий датчик, управляется синтезатором-генератором высокой стабильности. Сигнал приёмника усиливается усилителем широкого диапазона, расположенным вблизи петли, и накладывается на среднюю частоту 10 кГц миксером. Миксерный сигнал производится синтезатором-генератором, одинаковым с генератором, управляющим датчиком. После этих операций передача, усиление и фильтрация происходят на средней частоте 10 кГц. Данные накапливаются вычислительной машиной типа Коммодор-64, моменты квантования датчиками на фотозлементах.

Точность измерений на моделях проверялась следующим образом. В модельном баке при помощи раствора NaCl разной концентрации были моделированы двуслойные, горизонтально слоистые полупространства

с изолирующим основанием. Затем отношения напряженностей поля были определены и математическим расчетом для соответствующих геометрических факторов и значений удельного сопротивления. На *рис. 52* это иллюстрируется примером; расхождение измеренных и расчетных значений на всех частотах меньше одного процента.

Как известно, границы между отдельными геоэлектрическими слоями обнаруживаются острыми переломами кривых ρ_K (кажущееся удельное сопротивление) — H (кажущаяся глубина), трансформированных из кривых зондирования, измеренных в поле системой Maxi-Probe. Примером для этого служит кривая частотного зондирования (*рис. 53/A*), измеренная над скважиной, пробуренной на участке исследований в предгорьях Баконь. Если приближение двуслойной геологической модели с изолирующим основанием дается горизонтально слоистой моделью, на кривой острого перелома не оказывается (*рис. 53/B*, сплошная линия). Однако очень слабое наклонение (в данном случае 2°) границы слоев, то есть основания, приводит к значительному усилению перелома, отмечающего границу слоев (*рис. 53/C*, пунктирная линия). Это явление получается по направлению как падения, так и простирания. Таким образом, можно представлять, что вероятность точного выявления границы слоев повышается фактом, что эти границы на самом деле очень редко являются совершенно горизонтальными.

Результаты электромагнитного моделирования модели с низкоомным прослойком видны на *рис. 54/A*. На кривой ЧЗ, измеренной над проводящим слоем, возникает перерастание то-есть значения кажущегося удельного сопротивления превышают удельное сопротивление верхнего высокоомного слоя. Границы слоев определяются с погрешностью 4–6% точками пересечения касательных к одиночным участкам кривых. Те же самые явления видны и на кривой ЧЗ, измеренной над рудопроявлением у г. Ганнукаинен (Финляндия; *рис. 54/B*).

2.2.3 Разработка магнитотеллурической станции*

Летом 1984-ого года закончена разработка нового варианта магнитотеллурических измерительных систем типа ДЭФ, станции ДЭФ-7. Станция с цифровым накоплением сигналов кроме магнитотеллурических измерений пригодна и для измерений методами становления электромагнитного поля, глубинного частотного зондирования и вызванной поляризации. Блок-схема станции видна на *рис. 55*.

* Варга Г.

Настоящая станция ДЭФ-7 по сравнению со станцией ДЭФ-1, изготовленной в 1976-ом году (Годовой Отчет ЭЛГИ за 1976 г, стр. 78-80), имеет следующие преимущества:

— она управляется микропроцессором типа ИНТЕЛ 8080, вместо интегральных схем ТТЛ, использованных в станции ДЭФ-1; применение микропроцессора позволяет достигнуть более высокую надежность и упругое — программируемое — управление измерениями;

— кроме традиционных пятиканальных магнитотеллурических измерений станет возможным измерение и вертикального электрического составляющего электромагнитного поля; знание составляющего E дает новые возможности в интерпретации магнитотеллурических измерений; при его помощи можно определять и учитывать в интерпретации измерений горизонтальное распространение волн и неоднородность первичного поля;

— через параллельный выход данные измерений могут быть переданы одновременно в микро-ЭВМ, при помощи которой квалификация и предварительная обработка данных станет возможным в реальном масштабе времени;

— контакт внешнего канала дает возможность проведения синхронных измерений.

Осенью 1984-ого года после полевой наладки и калибрации со станцией измерено 20 магнитотеллурических зондирований.

2.2.4 Геофизические измерения в археологии*

В рамках сотрудничества Центрального Геологического управления и Комитета Раскопок наш институт несколько лет ведет геофизические измерения для содействия археологическим раскопкам. За последние два года в десяти областях различными методами были решены различные задачи. Археологические объекты по геофизическим методам исследований разделены на три разные группы:

1. стены (известняковые) с большим сопротивлением, заложенные в почву (глиняную) с меньшим удельным сопротивлением, которые обнаруживаются профилированием радарным и сопротивлением;
2. обожженные предметы (печи, очаги, обломки кирпича и черепицы), которые из-за термоостаточной намагниченности обнаруживаются магнитными измерениями;
3. расположение и размеры копи (заполненной обломками), с меньшим сопротивлением, в окружающей среде (доломит) с большим

* Паттаньюш-А. М.

удельным сопротивлением, геоэлектрическим глубоким профилированием обнаруживается.

Раскопкам римской крепости во внутренней части г. Шагвар препятствовали несколько факторов: нынешние застройки, отсутствие некоторых частей стены из-за застроек в новые века и высокий уровень грунтовых вод. Во время снова начатых раскопок в 70-ых годах все ещё нераскопанной осталась восточная сторона крепостной стены, проходящей вблизи болот. Задачей геофизики стало определение точного расположения одной из самой глубоких частей крепости — юго-восточной угловой башни. Наши первые измерения были проведены с помощью геологического радара (GPR: Ground Probing Radar) фирмы GSSI (Geophysical Survey System Inc, USA), одной из предлагаемой области использования которого является как раз археологическая геофизика.

Радар дает возможность непрерывного профилирования с большой разрешающей способностью. На поверхности возбуждается электромагнитный импульс, а потом отраженные сигналы с погребенных, отличающихся геоэлектрическими свойствами граничных поверхностей регистрируются широкополосным приемочным экраном. На *рис. 56* изображен характерный снимок. На радарном снимке остаток стены из материала с большей диэлектрической постоянной возбуждает много отраженных волн, а окружающая почва поглощает большинство волн. Отраженные сигналы появляются густой, темной полосой, поэтому на снимке можно отличить остаток стены. Глубину определяем приближенным методом: вблизи измерительной территории мы закопали на известную глубину хорошо отражающий предмет (металл), сигнал которого распознается на снимке, и эту глубину обозначили на снимке. Над регистратором отметили особенность, указывающую на остаток стены, а также разрез сопротивления, измеренный позже по той же линии, который там же показывает большее сопротивление, где мы по интерпретации радара предполагали стену. План угловой башни сняли за полдня радарным профилированием.

На территории Вишеград-Варкерт мы проводили магнитные измерения для археологических раскопок замка XI-го века. Каждому дому, наполовину захороненному в землю, принадлежит остаток печи, которые по нашим измерениям вызвали изменения магнитного поля —50–+90 нТ. Магнитную карту меньшей территории покажем на *рис. 57/А*, где значительные аномалии оказали печи, принадлежащие двум домам. Указанные объекты хорошо распознаваемы, несмотря на то, что два фактора мешали магнитному полю:

- 1) вблизи южного угла показанной территории расположен стальной контейнер, влияние которого очень значительно;
- 2) весь посёлок находится в окружающей среде вулканического происхождения.

Для устранения мешающих эффектов, с одной стороны, измерения проводились с двумя высотами зондов с вычислением вертикального градиента, *рис. 57/B*, с другой стороны, результаты измерений отфильтрованы фильтром, пропускающим сверху. Карту остаточных аномалий можно увидеть на *рис. 57/C*, которая содержит почти только аномалии разыскиваемых печей.

Римское хуторное хозяйство Балацапушта расположено на территории 16 гектаров. Археологические раскопки начались в начале века, тогда определили приблизительное место и размер 12-и ансамблей зданий. В 1970-ом году раскопали два здания. Для дальнейших раскопок мы проводили измерения геоэлектрического сопротивления. На *рис. 58* можно увидеть характерный разрез сопротивлений. По кривой „а“ мы изобразили измеренную величину после выравнивающей фильтрации, и на основе нескольких таких разрезов сконструировали карту удельных сопротивлений территории. На этой карте аномалии с большим сопротивлением означают зоны остатков вблизи поверхности, т. е. размеры зданий. Кривую „b“ мы получили из измеренных данных, отфильтрованных методом конволюции с помощью теоретической модели. Целью этого являлось выделение эффектов стены из эффектов обломков. С корреляцией индикаций стен на отфильтрованных разрезах удалось сконструировать возможный вариант основного плана ансамбля зданий.

В Будапеште, в районе Фаркашрет, в окрестностях улицы Деневер (*рис. 59*) на сравнительно большой территории нашли археологические находки (осколки кремня, инструменты из рога), на основе которых предполагалось присутствие кремневой копи. На основе разрезов сопротивлений, измеренных параллельно боковому уступу плоскогорья, мы наметили место для раскопок зоны остатков с меньшим сопротивлением, находящейся в доломите с большим удельным сопротивлением. Одна из таких зон меньшего сопротивления, на профилях глубин прослеживающаяся вниз больше, на самом деле показала место кремневой копи, что и было доказано раскопками. По результатам археологических исследований начинают вырисовываться очерки единственной в Европе находки, вызывающий большой интерес, и происходящий из среднего палеолита, 50 тыс. лет давности. На *рис. 60* можно увидеть перспективную картину копи, найденной по меньшему в сравнении с окружением сопротивлению.

Кроме показанных, во многих областях использование геофизических измерений дало положительные результаты. В Асоде, по территории Малого Балатона и в Алшохетенпуста продолжали измерения, начатые в прошлом году (Годовой отчёт за 1982 год, стр. 289–291). В Вишеграде во внутреннем дворе замка, построенном на остатках римской крепости, разведывали расположение двух зданий с помощью профилирования методом сопротивлений, которые будут раскопаны в 1985-ом году. В

Эстергоме ограничена часть средневекового монастыря, простирающаяся под соседней спортивной площадкой, также методом профилирования методом сопротивлений.

В достижении этих результатов помог нам Д-р Йозеф Корек, заместитель главного директора Венгерского Национального музея, ведущие отдельные раскопки сотрудники-археологи: д-р Эндре Тот, Юлия Коваловски, Жужа Ловаг (Венгерский Национальный музей), д-р Вера Габори-Чанк (Будапештский Исторический музей), Сильвия Палади (Музей Баконь, Веспрем) и Матьяш Сёке (Музей Матяш кирай, Вишеград).

2.2.5 Интерпретация гравитационных измерений в горных районах*

При развитии гравитационных методов в последние годы выяснилось, что обработка гравитационных измерений в горных районах требует специального способа интерпретации.

При составлении карт аномалий Бугэ измеренные данные должны быть исправлены разными поправками, но в случае измерений в горных районах обычных поправок недостаточно. В технической литературе пока не опубликован метод, подходящий для интерпретации измерений в горных районах. Поэтому с 1980-ого года занимаемся разработкой нового способа.

В случае измерений в горных районах основными источниками ошибок являются:

- аномалии Бугэ относятся не к плоскости, а к нерегулярно меняющейся топографической поверхности, поэтому величина и форма аномалий искажаются;
- из-за коррекции Бугэ, рассчитанной с постоянной средней плотностью, возникает локальная корреляция между высотными значениями участков изменчивого рельефа, слагаемого горными породами сильно различной плотности, и аномалиями Бугэ, что сильно затрудняет интерпретацию.

Из этих источников ошибок следуют задачи, подлежащие решению:

- гравитационные аномалии, относящиеся не к плоскости, а к изменчивому рельефу, должны быть пересчитаны на общую плоскость; это может быть сделано при помощи аналитического продолжения вверх;
- из измеренных гравитационных данных и из локальной корреляции между ними и высотными значениями надо определить среднюю

* *Пинтэр А., Штомфай Р.*

плотность приповерхностных горных пород, а значения аномалии Бугэ должны быть исправлены с этой плотностью, изменяющейся по пунктам.

В 1984-ом году составлена программа расчета средней плотности приповерхностных горных пород и программа аналитического продолжения вверх. Обе программы были успешно использованы на небольшом опытном участке гор Матра.

При расчете корреляций пока имеется несколько проблем, подлежащих решению.

Новый способ интерпретации будет применяться впервые на гравитационном материале, измеренном за 1980–1984-ые годы в горах Западная Матра.

2.2.6 Определение топографического эффекта на ЭВМ*

Топографический эффект раньше был рассчитан так, что для каждой точки измерений на основе топографической карты были определены средние значения высот. Эти значения относились к секторам колец. Значения поправок, подходящих средним значениям высоты, были взяты из таблиц, опубликованных в литературе. Этот способ требовал очень много рабочего времени и рабочих сил, кроме этого возможность ошибаться была очень большой. Поэтому оказалось своевременным переносить эти расчеты на ЭВМ.

Основой разработанного вновь расчета топографической коррекции является система данных, которая получается так, что с карты масштаба 1:10 000 высчитываются средние значения высоты на площадке размером 100 м×100 м, и они хранятся в ЭВМ. Форма участков, по которым рассчитывается топографический эффект, — в отличие от старого способа — не сектор кольца, а квадрат. Старый способ учитывал топографический эффект внутри круга диаметром 44 км, а длина стороны учтенного квадрата по новому способу составляет 51 км.

Расчет топографического эффекта состоит из двух частей:

- расчет дальнего эффекта;
- расчет ближнего эффекта, в который включается и так называемый непосредственный эффект.

При расчете *дальнего эффекта* область расчета разделена на квадратные „кольца“ (зоны), где длина внутренней стороны большей зоны и длина внешней стороны следующей меньшей зоны одинаковы (рис. 61).

* Шёнвиски Л., Штомфай Р.

Отдельные зоны — в зависимости от расстояния до точки измерения — разделены на квадраты разной площади, которые являются основаниями призм. Средние значения высот этих призм квадратного сечения получаются из средних высот квадратных призм площадью $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$, путем осреднения. Параметры зон:

зона	длина внешней стороны (км)	длина внутренней стороны (км)	основание призм (кв. км)
<i>a</i>	51	15	3×3
<i>b</i>	15	5	1×1
<i>c</i>	5	3	$0,5 \times 0,5$
<i>d</i>	3	1,7	$0,3 \times 0,3$
<i>e</i>	1,8	0,2	$0,1 \times 0,1$

Квадрат размером $200 \text{ м} \times 200 \text{ м}$ внутри самой внутренней зоны (зоны *e*), образующий окружение точки измерения, входит уже в расчет ближнего эффекта, поэтому при расчете дальнего эффекта не учитывается. Для всех точек измерений, находящихся во внутренней области зоны *e* (в квадрате размером $1 \text{ км} \times 1 \text{ км}$, обозначенном пунктирной линией на рис. 61), разделение зоны принимается зафиксированным.

В интересах ускорения расчета влияние квадратных призм в точке измерения рассчитывается приближением. В окружении точки измерения радиусом 300 м влияние квадратной призмы приближается влиянием 9-и массовых точек (по методу д-ра Ф. Штейнера). Массовые точки располагаются в центре и на углах призмы. Более далекие призмы замещаются так называемыми гравитационными палками (массовыми пряжами). Необходимые программы написаны на ЭВМ ЕС 1035. Они рассчитывают дальний эффект для угловых точек сети $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$, приспособляясь к сеточному разделению стереографических карт, на 5 разных высот. Результаты печатаются в виде таблиц. Полевая измерительная партия использует таблицы так, что топографический дальний эффект для точки внутри области $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$ определяется путем интерполяции при то значений, соответствующих высоте точки, в зависимости от расстояний от угловых точек, при помощи таблиц.

При расчете дальнего эффекта кроме указанного табличного решения составлена и программа, проводящая на ЭВМ ЕС 1035 расчет непосредственно, отдельно для каждой точки. Топографическая коррекция гравитационных измерений, проведенных в горах Матра за 1980–1984 годы, выполнена с использованием последней программы.

При расчете *ближнего эффекта* площадь квадрата $200 \text{ м} \times 200 \text{ м}$, окружающего точку измерения, разделена на 25 квадратов размером $40 \text{ м} \times 40 \text{ м}$ (рис. 62). Непосредственный эффект рассчитывается на основе то-

пографии самого внутреннего квадрата размером $40 \text{ м} \times 40 \text{ м}$, а ближний эффект — из средних значений высоты остальных 24-х квадратов по $40 \text{ м} \times 40 \text{ м}$. Для расчета ближнего эффекта средние высоты определяются на основе топографической карты масштаба 1:10 000 отдельно для каждой точки. При расчете ближнего эффекта используется приближение не призмой квадратного сечения, это было бы очень медленно, а полиномом 3-ей степени, при помощи программируемого карманного калькулятора типа HP 41C. Расчет *непосредственного эффекта* относится к центральному квадрату, обозначенному на *рис. 63* толстой линией. В центре этого квадрата находится точка измерения. Для расчета непосредственного эффекта кроме средней высоты центрального квадрата требуются и средние значения высот соседних 4-х квадратов (*рис. 63*). Центральный квадрат разделен на 4 усеченных квадратика, из которых отсутствует квадратик размером $2 \text{ м} \times 2 \text{ м}$ у точки измерения. Предполагается, что на площади квадратика $4 \text{ м} \times 4 \text{ м}$ вокруг точки топография равна. Быстрое решение получается и при этом расчете приближением полиномом 3-ей степени.

2.3.1 Определение нейтронно-физических параметров*

Полученные за прошедшие годы результаты методических работ и аппаратных разработок позволили более точно определить известные физические параметры горных пород (напр., плотность, нейтронную пористость) и создать методы для определения новых параметров, способствующих более надежному истолкованию формаций (напр., длина замедления, сечение поглощения).

Процесс определения плотности и нейтронно-физических параметров, вычисляемых по методам ГГК и НКК, иллюстрируется на блок-схеме, рис. 64. Соответствующие параметры основных компонент теоретической модели породы вычисляются при помощи таблиц основных данных. Для составления теоретической модели изучаемой формации необходимо считать их компоненты известными. Встречаемые на практике породы обладают весьма сложным составом, а при наших расчетах мы вынуждены предполагать, что состав породы известен и состоит из 2, 3, или, в крайнем случае, 4 основных компонент. Относительный объем или состав в весовых процентах основных компонент также считаются известными. Таким образом получается общее соотношение, пригодное для определения указанных параметров:

$$x_t = v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_k x_k,$$

где

- x_t — характерный для изучаемой теоретической модели параметр (напр., плотность, сечение поглощения),
 x_1, x_2, \dots, x_k — параметры, вычисленные теоретическим путем для основных компонент формации,
 v_1, v_2, \dots, v_k — относительные объемы основных компонент формации,
 k — количество основных компонент, слагающих формацию.

Плотность (электронов) и нейтронно-физические параметры даны в виде таблиц основных данных. Например, значения микроскопического сечения нейтронов по различным элементам, необходимые для расчета ней-

* Андраши Л., Барат И., Ковач Н.

тронно-физических параметров, входят в изданный в 1974 году сборник данных по диффузионной программе SABINE, разработанной в рамках EURATOM. Создание нейтронно-физических параметров (постоянных групп) из вышеуказанных данных производится двумя сегментами этой программы, а именно подпрограммами SABAD и CSOPAK.

В *таблице II* в качестве примера приводятся значения нейтронной пористости, длины замедления, диффузионной длины и миграционной длины, вычисленные для теоретических моделей известняка и песчаника. Со значением вычисленных параметров для изучаемых теоретических моделей (теоретические расчеты четырехгрупповой диффузии, расчеты Монте Карло) можно вычислить распределение теоретических потоков или спектральное распределение рассеянного гамма-излучения с учетом соответствующих параметров скважинных приборов.

Построенная в ЭЛГИ Метрологическая система по промысловой геофизике обеспечивает возможность проведения калибровки зондов ГГК и ННК любого типа при идеализированных скважинных условиях (постоянная температура, постоянное давление, постоянная водонасыщенность и т. п.). По результатам калибрационных измерений можно вывести математические соотношения, которые осуществляют связь между характерным для формаций параметром, замеренным числом импульсов и параметрами скважины.

Точное определение плотности и нейтронно-физических параметров требует знания скелета породы. Содержание Th, определяемое по спектрометрии естественного гамма-излучения, и длина замедления L_f , определяемая по кривым ННК, позволяют построить график взаимной зависимости L_f -Th, при помощи которого можно определить скелет породы. На *рис. 65* приведен график взаимной зависимости L_f -Th, построенный по расчетам для теоретической модели.

Определение плотности и нейтронно-физических параметров по диаграммам ГГК и ННК иллюстрируется на практическом примере. Кривые проведенных в скважине „N“ различных измерений показаны на *рис. 66*. Эти материалы включают в себя также кривую длины замедления L_f , полученную в виде непрерывной записи. На основании приведенных кривых параметры объемного веса, нейтронной пористости и нейтронно-физические параметры (длина замедления L_f , длина диффузии L_d , сечение поглощения Σ_{at}) были вычислены для угля, глинистого угля, известняка и глинистого известняка. Результаты этих вычислений проведены в *таблице III*. Приведенные в таблице значения плотности $[\rho_b]$, нейтронной пористости $[\Phi_N]$ и длины замедления $[L_f]$ были определены по непрерывным записям при помощи универсальной наземной панели типа KFU-4-12 P. В значения плотности и нейтронной пористости были введены поправки за диаметр и глинистую корку.

Указанные в таблице формации считались построенными из трех основных компонент и при помощи приведенного на *рис. 67* трехмерного графика взаимной зависимости [$L_a - \rho_b$] были определены относительные объемы основных компонент, слагающих изучаемые формации. В таблице вычисленные значения занесены в колонки c (скелет), n (суммарное содержание воды) и h (загрязнение).

2.3.2 Измерение магнитной восприимчивости при разведке угольных месторождений*

В Годовом отчете за 1982 г. была сделана ссылка на то, что начиная с 1979 г., в ЭЛГИ проводятся измерения магнитной восприимчивости (κ). В то время наша цель заключилась в том, чтобы в общих чертах охарактеризовать эти работы во всех районах измерений в Венгрии. Сводка замеренных на разных породах значений дается в Годовом отчете за 1982 г. в виде схемы качественных частот (стр. 147). Дальнейшая задача заключалась в разработке метода интерпретации на основе типичных значений для отдельных пород. Необходимо было решить вопрос о необходимости вычисления содержания магнетита или приурочивания результатов измерения к древней окружающей (геохимической) среде.

За прошлый год большинство скважинных работ было проведено в области лигнита у подножья гор Матра, измерения были выполнены в 14 скважинах. В районе Вишонта непродуктивная часть угольной толщи представлена в основном подводной частью дельтовой формации. Целая толща представляет собой параличскую серию угольных слоев. В качестве характерной диаграммы района приводится кривая, полученная в скважине Веч-35. Толща кроме лигнитов содержит глины, алевроиты и пески (*рис. 68*). Среднее значение магнитной восприимчивости в песках составляет $\kappa = 1.5 \times 10^{-4}$ SI. Глины отличаются немного более высоким значением $\kappa = 2 \cdot 10^{-4}$ SI. Максимальные значения, как правило, связаны с глинами. Очень хорошая корреляция наблюдается между кривыми магнитной восприимчивости и естественного гамма-излучения. Минимумы связаны с лигнитами (минимальное значение составляет $\kappa = 5 \times 10^{-5}$ SI). Максимальными значениями проявляются кровля и подошва пласта, а также прослойки органического вещества внутри пласта. Предполагается, что эти богатые органическим веществом лигнитовые глины являются аналогичными горючим сланцам в области Ноград, где был получен подобный опыт по диаграммам магнитной восприимчивости и естественного гамма-излучения. Пласт „0“ и пласт 1 якобы сливаются в скважине, толь-

* Зилахи-Шебеш Л. мл.

ко по измерениям можно наметить раздел между ними (прослойки глины от 87 до 88,5).

Другая диаграмма получена на шахте Иштван в г. Комло (*рис. 69*). На диаграмме максимумы магнитной восприимчивости связаны с участками, где угольный пласт замещается пустыми породами. Из этих мест была взята проба (не из скважины), намагничиваемая часть которой представлена пропластком пирита, но главным образом марказита, и сланцеватым углем в его кровле и подошве. Эти горизонты являются по предположению сингенетическими, болотного генезиса, а не представляют собой результат последующего изменения. Исходя из этого, выявление подобных горизонтов открывает возможность для корреляции пластов. Пробы из стенки скважины были замерены также ручным прибором для измерения магнитной восприимчивости типа КТ-5, и было отмечено, что черный сланцеватый уголь обладает повышенными значениями по сравнению с марказитовой частью. По анализу проб в Радиологическом отделении ЭЛГИ сланцеватый уголь и марказит имеют почти одинаковое содержание железа. Значит, разница в намагничивании вызывается тем, что в одном месте железо присутствует в виде FeS_2 , а в другом оно преобразовалось в гематит или магнетит при потере содержания серы.

По измерениям можно сделать вывод о том, что хотя значение магнитной восприимчивости образуется за счет содержания намагничиваемых минералов, все-таки не существует однозначной связи между типами пород и магнитной восприимчивостью, подобно тому, например, что восприимчивость песка составляет около $\kappa = 10^{-3}$ СИ, что является однозначно более высоким значением, чем значение в глинах. Такие связи существуют только в пределах данного района. Таковой является зависимость κ от зернистости, которая наблюдалась на конусе отложений реки Марош и которая в действительности связана с минеральным составом. Подобным образом было установлено, что в лигнитовом районе у подножья гор Матра диаграмма κ подобно кривой ГК может рассматриваться как индикатор глины. Значительно более общая зависимость наблюдается, однако, между литофациями и восприимчивостью, ведь паннонские формации повсюду отличаются низкой восприимчивостью песков, равной $\kappa = 5 \times 10^{-5} - 10^{-4}$, а глины характеризуются значением $\kappa = 2 - 4 \times 10^{-4}$. Это обстоятельство объясняется тем, что указанные формации намечают одинаковую палеосреду, поэтому они проявляются в очень похожей форме.

Общим явлением оказалось и то, что органические глины, следы угольных пластов, прослойки угля всегда представляют максимальные значения по сравнению с их окружением. Такое явление может оказать помощь в отождествлении отдельных угольных пластов по прослойкам пустой породы. Обыкновенные глины, как правило, отличаются низкой

намагничиваемостью (около $\kappa = 2 \times 10^{-4}$), значит, и в случае глин значение κ скорей может быть привязана к палеофации. Собственно говоря, с точки зрения магнитной восприимчивости палеофация означает состояние окисленности железа. Это означает, что намагничиваемость для осадков, отложенных в стоячей воде, формируется за счет вторично образованных минералов, в возникновении которых условия окисления–восстановления играют определенную роль. Напротив этому, для речных осадков область размыва и энергия потока воды являются первичными. Это наблюдалось на диаграммах, записанных на конусе отложений р. Марош. Значит, в интерпретации речной осадочной толщи, если необходимо определить место происхождения осадков, кривая κ может оказать серьезную помощь.

В осадочной толще кривая κ используется подобно кривой ГК, так как обе кривые могут быть применены для геологических корреляций, стратиграфических исследований в скважинах и в качестве индикатора глины. Эти параметры не находятся в непосредственной связи с пористостью, проницаемостью или плотностью. Подобно кривой ГК, диаграмма κ имеет большое значение в геологической корреляции и распознавании геологических фаций. Подобно тому, как при гамма-спектрометрии осадочных тоящ качественная геологическая информация, полученная по соотношению отдельных излучающих веществ, является наиболее важной, то при измерении восприимчивости нас интересует не фактическое количество магнетита. В количественной интерпретации, подобно измерениям ГК, роль этих работ является косвенной, так как существует ряд поправок, которые зависят от района, т. е. в действительности от фации, для выбора которых она обеспечивает полезные данные. Здесь мы имеем ввиду, например, тип глинистости или определение зольности угля по плотности, которая также сильно зависит от района, а в действительности от фации.

2.3.3 Программные системы интерпретации*

Обработка каротажных диаграмм скважин на уголь

Разработанная раньше для машин НР программная система по углю была внедрена в производственном порядке в 1984 г. В качестве новой формы услуг система была введена на месторождении Вишонта.

Замена ручной интерпретации на машинную позволила производить вы-

* Месарош Ф., Бихари А., Лах Ж., Ковач Н., Баги Р., Салаи М., Караш Д.

числение и графическое представление физических параметров для каждой глубинной точки отдельно. Для этого на ЭВМ типа HP 9825 В осуществлена обработка по следующим фазам:

- преобразование каротажных диаграмм в цифровой код (только для аналоговых кривых),
- ввод каротажных кривых с перфоленты или полевой кассеты в накопитель каротажных данных,
- обработка,
- графическое представление.

В соответствии с потребностями геологической разведки и промышленности изготавливаются следующие виды документации:

- 1) текстовая интерпретация, которая содержит информацию о скважине и условиях измерения;
- 2) замеренные кривые в графическом изображении, изготовленном подключенным к ЭВМ графопостроителем;
- 3) результаты обработки в графическом изображении, вычерченном подключенным к ЭВМ графопостроителем (в том числе литологии, пористости, плотности, зольности, калорийности, влажности, глинистости);
- 4) таблица с указанием характерных физических параметров пройденных скважиной угольных пластов (включая тонкие непродуктивные прослойки внутри пласта).

Перечисленные документы также копируются на микроплёнку с целью хранения в архиве.

Миницентр

В течение года мы приступили к созданию каротажного миницентра на базе ЭВМ COMMODORE-64.

Задача миницентра заключается в интерактивной обработке материалов измерений в относительно неглубоких скважинах, с одной стороны, и в разработке и опробовании новых методов. В настоящее время миницентр включает в себя следующие технические средства:

- 1 шт ЭВМ типа COMMODORE-64,
- 1 шт гибкий диск типа VC-1541,
- 1 шт графопостроитель типа SEIKOSHA,
- 1 шт кассетный магнитофон типа COMMODORE,
- 1 шт телевизионный монитор типа JVC,
- 1 шт устройство ввода с кассеты Мемодайн, изготовленное в ЭЛГИ.

В 1984 г. была изготовлена система накопления каротажных данных WELL. По своей структуре WELL представляет собой пакет программ, которое обеспечивает хранение замеренных скважинных данных на магнитных дисках, с одной стороны, и предоставление данных для отдельных геофизических программ, с другой.

Программы системы накопления обеспечивают обмен данными (параметрами скважины, измеренными кривыми, результатами обработки) между памятью ЭВМ и внешней памятью на магнитных дисках в обоих направлениях. После изготовления системы накопления данных началась разработка геофизических обрабатывающих программ.

Система программ для обработки данных пластового наклономера малого диаметра

Разработана обрабатывающая программная система для нашего трехрычажного скважинного прибора. Разработка велась на основе корреляционной техники для определения истинного угла наклона пласта и азимута его падения. Процесс вычисления истинного наклона пласта разделяется на следующие хорошо различимые фазы:

- 1) ввод записанных на магнитную ленту данных наклономера (трех кривых микросопротивления, координат магнитного поля: h_x , h_y , h_z , координат наклонения зонда: i_x , i_y , диаметра скважины) в ЭВМ;
- 2) отождествление индикаций от одинакового пласта по введенным кривым сопротивления и определение относительного смещения по глубине;
- 3) определение значений наклона по вычисленному смещению по глубине, диаметра скважины и данным ориентации; в системе координат зонда определяется нормальный вектор, перпендикулярный плоскости кажущегося залегания пластов, затем этот нормальный вектор переводится в фиксированную систему координат Земли; по значениям переведенного нормального вектора определяются истинный угол падения и направление наклона пластов;
- 4) представление расчетных результатов в виде таблиц и различных чертежей.

Путем обработки данных полевых экспериментальных работ был проведен пуск программного пакета в эксплуатацию на ЭВМ ЕС-1035.

2.3.4 Интерпретация углеводородов при помощи интерпретационной системы COMWELL–B. R./ELGI*

В сотрудничестве с Предприятием по разведке нефти в г. Солнок (ОКГТ) разрабатывается интерпретационная система COMWELL–B. R./ELGI, которая служит для оценки нефтегазовых залежей гетерогенной фации. В 1984 г. работы были направлены на сложнопостроенные толщи, слогаемые глинистоалевритовыми анизотропными песчаниками и мергелями.

Сущность проблемы заключается в том, что минеральный состав и распределение содержащихся в песчаниках глин и алевритов показывает сложные вариации в неогеновых песчаниках; к этому добавляется еще низкое содержание ионов в поровых водах, что значительно увеличивает эффекты глинистых минералов и алевритовой фракции на каротажные параметры. Часто наблюдается, что удельное электрическое сопротивление $[R]$ нефтегазоносных песчаников почти не выше сопротивления водонасыщенных — но не содержащих глин и алевритов–песчаников $[R_0]$, особенно, если глинисто-алевритовые прослойки следуют морфологии тонкослоистых непроницаемых пропластков и пачек и, таким образом, приводят к развитию анизотропии в породах. В таких условиях часто очень трудно выявить наличие продуктивных углеводородов и трудно получить надежные данные о водонасыщенности $[S_w]$ и нефтегазонасыщенности $[S_{hy}]$ по анализу каротажных диаграмм. Проблема усложняется также тем, что значительные объемные пропорция глины и алеврита $[V_{cl}, V_{sl}]$ приводят к росту остаточной водонасыщенности песчаника $[S_w]$, и даже при значениях 0,4–0,6 последней величины можно добывать безводные углеводороды из пластов.

Система использует следующие основные принципы для решения проблемы:

1) Модель интерпретации учитывает все компоненты породы, производящие заметное влияние на геофизические параметры, и основные изменения в геометрии их распределения (вкрапленной или тонкослоистой). В соответствии с этим, объемная модель состава песчаника соответствует структуре, показанной на *рис. 70*. Модель также учитывает содержания адсорбционной воды в отдельных компонентах $[\Phi_{ads}]$. Полная пористость породы $[\Phi]$ равна сумме эффективной и адсорбционной пористости.

2) Интерпретационная система пользуется ответными функциями многих переменных — в соответствии с многокомпонентным составом горных пород — для описания каротажных параметров.

* Барлаи Э.

Так, например, ответная функция удельного сопротивления породы дается в виде

$$\frac{1}{R_t} = \frac{V_{l,i}}{R_{l,i}} + \frac{1 - V_{l,i}}{R_s},$$

где R_t — удельное сопротивление непроницаемых прослоек и пачек,
 R_s — сопротивление проницаемых пластинок:

$$R_s = \frac{R_w}{\Phi^m} \frac{1 + L}{(S_w + L)^2}.$$

Здесь L представляет собой т. н. литологический коэффициент, который играет центральную роль в системе COMWELL–B. R./ELGI, так как посредством его величины учитывается влияние глин и алевроитов:

$$L = \left(\frac{V_{cl,sw}}{R_{cl,sw}} + \frac{V_{cl,nsw}}{R_{cl,nsw}} + \frac{V_{si}}{R_{si}} + \frac{V_{sd}}{R_{sd}} + \frac{V_{ca}}{R_{ca}} \right) \frac{R_w}{\Phi}.$$

В этой формуле R_w — удельное сопротивление поровой воды, а остальные величины R выражают макрофизическое удельное сопротивление компоненты породы, указанной в показателе. Неогеновые песчаники Венгрии отличаются следующими относительными макроскопическими сопротивлениями:

$$\frac{R_{cl,sw}}{R_w} = 0,4; \quad \frac{R_{cl,nsw}}{R_w} = 2; \quad \frac{R_{si}}{R_w} = 5; \quad \frac{R_{sd}}{R_w} = \frac{R_{ca}}{R_w} = 50.$$

Подобным образом можно построить ответную функцию времени пробега по волнам сжатия АК.

3) Система COMWELL–B. R./ELGI смешанно применяет детерминистические и статистические программные модули интерпретации для повышения эффективности интерпретации. Необходимо заметить, что для статистических модулей совокупность входных параметров и математических принудительных условий превышает совокупность выходных параметров; в то же время для детерминистических модулей эти совокупности совпадают.

4) Система использует специальные калибрации в процессе интерпретации; калибрации начинаются с кроссплотным анализом входных параметров и продолжают статистической оптимизацией промежуточных параметров (напр., специфических геофизических эффектов); в случае возможности, группы характерных значений, замеренных в лаборатории на кернах буровых скважин, также вовлекаются в оптимизацию представительных значений отдельных интерпретационных величин.

5) Система обращает большое внимание на определение насыщения жидкостями: кроме определения водонасыщенности по обычному абсолютному методу также применяется способ многократного сравнения, в рамках которого геофизические параметры изучаемого пункта сопоставляются с геофизическими параметрами т. н. опорных пунктов, где водонасыщенность по другому источнику информации является известной с относительно высокой точностью.

6) Интерпретационная система COMWELL-B.R./ELGI определяет широкий выбор выходных параметров для того, чтобы по возможности больше количественной информации было предоставлено геологам и инженерам для подсчета запасов нефти и газа, для промышленной оценки отдельных участков при составлении проектов опробования пластов и разработки месторождения, а позже — для управления технологией эксплуатации.

В число выходных параметров входят, конечно, объемные фракции компонент пород и насыщения жидкостью, кроме того, гидравлические характеристики, например, проницаемость, удельная поровая поверхность и капиллярность. Например, для определения компоненты пористости, заполненной адсорбционной водой, применяется следующая формула:

$$\Phi_{ads} = L\Phi \frac{R_{ads}}{R_w},$$

где R_{ads} — удельное электрическое сопротивление оболочки адсорбционной воды; необходимо заметить, что в слоях неогеновых песчаников Венгрии R_{ads}/R_w меняется в пределах $1/8 \div 1/12.5$.

В ходе усовершенствования интерпретации COMWELL-B. R./ELGI мы стараемся вовлечь все будущие каротажные параметры в систему и распространить ее на все больше вариантов коллекторов.

2.3.5 Разработка ядерных приборов*

Для разведки месторождений минерального сырья и источников воды был разработан новый тип скважинного прибора. Зонд типа KG ρ SP-3-80-43sY диаметром 43 мм работает на одной жиле кабеля в импульсном режиме и позволяет одновременно проводить измерение потенциальным зондом 0,1 м + 0,4 м и естественного гамма-излучения, или, после переключения, градиентным зондом 1,6 м + СП и ГК, значит, записать три важных каротажных диаграммы при единственном подъеме прибора.

* Сентпали М., Короди Г., Надь М.

Принцип работы с зондом показан на *рис. 71*. На пластмассовый корпус скважинного прибора электроды надеты в виде колец. Электроника внутри корпуса зонда производит измерение сопротивления, СП и ГК, и передает эти данные в виде импульсов с тремя разными амплитудами по одной жиле бронированного кабеля. Опорный пункт детектора по каналу ГК совмещен с опорным пунктом потенциального электрода 0,4 м, благодаря чему значительно упрощается смещение электрических диаграмм к общей глубинной точке на основании кривой ГК.

Блок-схема зонда приведена на *рис. 72*. Естественное гамма-излучение падает на фотоэлектрический умножитель, монтируемый на кристалле NaJ(Tl), измерение потенциала производится генератором тока и измерительными усилителями, сигнал от последних обрабатывается преобразователем напряжения в частоту. Передача выходных импульсов от трех каналов на дневную поверхность обеспечивается кодирующим каскадом, выполненным в системе шагающего регистра и накопителя, таким образом, передача импульсов является сводобной от совпадения.

Электроника построена на интегральных микросхемах по технологии CMOS и пассивных элементах высокой стабильности. Технические данные зонда:

Детекторы:

по каналу ГК	[NaJ(Tl)] 24×70 мм +фотоэлектронный умножитель ФЭУ-102
по каналам сопротивления	размещенные на корпусе зонда кольцевые электроды К036.

Характеристики измерения:

пределы измерения ГК	0–2000 мкР/ч	
мертвое время	2–3 мкс	
пределы измерения сопротивления		
потенциальным зондом 0,1 м и 0,4 м	2–2000 ом-м	(переключается с дневной поверхности)
градиентным зондом 1,6 м	10–10 000 ом-м	
пределы измерения СП	–0,5– +2В	
ток питания	80 мА–2% (стабилизируется на поверхности)	
напряжение питания	35 В постоянного тока	
прочность при давлении	15 МПа	

габариты (пластмассовый корпус в сборе)

диаметр	43 мм
длина	ок. 2300 мм
масса	ок. 15 кг
рабочая температура	от 0 до 80 °С
рекомендуемый каротажный кабель	с сопротивлением петли ниже 100 ом и емкостью между двумя жилами ниже 0,75 мкф

2.3.6 Промышленный экспрес-анализатор МТА 1527–2000*

Созданный по результатам разработок за последние годы промышленный экспрес-анализатор типа МТА 1527–2000 кроме решения специфических задач в промышленности позволяет удовлетворить требованиям по анализу элементов экспрес-методом в области общей геофизики. В разработанном устройстве активационного анализа кроме компонент SiO_2 и Al_2O_3 решено определение MnO благодаря применению устройства управления нового типа. С учетом ядерных параметров кремния, алюминия и марганца, а также остальных мешающих компонент в породе, образцы попадают под оптимальные условия облучения и измерения, где возникающие радиоизотопы перечисленных компонент замеряются счетчиками ГМ высокой стабильности. После калибрации измерительной системы при помощи соответствующих эталонов пород количественные величины вышеуказанных компонент определяются с помощью микро-ЭВМ, входящей в комплект аппаратуры, по программам, записанным на магнитный диск, и печатаются в табличной форме для последующего использования.

В рентгеново-радиометрическом измерительном устройстве аппаратуры МТА 1527–2000 используется энергоселективное измерение при помощи пропорциональных детекторов. Выбор изучаемых компонент из энергетического спектра решен в результате совместного применения дифференциальных фильтров и электронных дифференциальных дискриминаторов при оптимизации ядерно-физических параметров компонент. Таким образом было решено определение элементов Fe, Mn, Cu, Ni с учетом потребностей геофизики.

Полная процедура измерения (включая замену и транспорт образцов, смену механических фильтров, изменение электронных параметров) на аппаратуре МТА 1527–2000, которая объединяет методики измерения

* Реннер Я., Шиклош А.

НАА и РРФ, происходит автоматически, без человеческого вмешательства. Интерпретация данных измерений производится при помощи малой ЭВМ, работающей в неавтономном режиме с каналами сбора данных аппаратуры.

Подвижный вариант аппаратуры монтируется на автомобиле УАЗ и позволяет произвести анализ элементов в полевых условиях. В кузове автомобиля размещаются устройство для подготовки образцов и измерительная система МТА 1527–2000. Активирующее устройство перевозится в специальном прицепе к автомобилю. Питание системы обеспечивается с агрегата, независимого от электрической сети. На месте полевых работ полевая аналитическая лаборатория выдает результаты измерения по истечении 30 минут после приезда.

2.3.7 Каротажный ресигтир*

Для удовлетворения потребностям современных каротажных станций был разработан четырехканальный регистратор типа APR–2–260К (рис. 73).

Механическая конструкция регистратора была разработана на основании опыта, накопленного при создании прежних вариантов регистратора. Аппаратура работает по принципу компенсографа, имеет четыре аналоговых измерительных канала и два вспомогательных канала (рис. 74). Ширина поля записи по аналоговым каналам составляет не более 230 мм. Отклонение пера каждого из четырех каналов, представленных разными цветами, перекрывает полную ширину поля записи. Вне поля на правом краю можно ставить метки времени и глубины при помощи 2 вспомогательных каналов. Перемещение бумаги возможно вперед и назад со скоростью 0–5 мм/сек, в соответствии с управлением приводящего шагового двигателя. Перемещение бумаги устанавливается по масштабам глубины от 1:20 до 1:100.

Положение измерительного зонда отсчитывается на пятиразрядном индикаторе глубины с точностью 10 см. Неотъемлемой частью регистратора является операционное устройство типа KFC–4–12, которое кроме выбора вида измерения содержит полуавтоматическую схему введения поправок за глубину, устройство для замера скорости движения кабеля, а также схему компенсатора. Предусмотрена возможность установки начальной глубины измерения с зондом путем быстрого вращения индикатора глубины вперед или назад. При приводе с оси времени регистратор пригоден для стационарных измерений.

* Флессер Н., Кантор Й., Коронтали Л.

Основные технические данные:

количество каналов	4, +2 вспомогательных канала
чувствительность каналов	100 мВ/10 см
масштабы глубины	1:20, 1:50, 1:100, 1:200 1:500, 1:1000
метки глубины	вручную
метки времени	10 с или 1 мин
напряжение питания	12 В постоянного тока
потребление тока	не более 5 А
габариты	19", системы 5E (KONTASET)

2.3.8 Механические разработки по геофизическим приборам*

Разработка новых зондов

В соответствии с требованиями современных методов поисков и разведки минерального сырья были созданы новые конструкции скважинных приборов. Для кавернометрии в сочетании с измерением нескольких других физических параметров была разработана механическая система семейства зондов диаметрами 36, 43, 60, 76 и 86 мм. Сущность системы заключается в том, что измерительные рычаги зондов прижимаются к стенке скважины при помощи моторного механизма.

Новейшей разработкой является зонд пластового наклономера диаметром 60 мм, который требует самой сложной технологии при каротажных измерениях. Особое внимание придавалось оформлению башмака, который в решающей мере влияет на точность измерения с зондом. Для изоляции электродов была разработана пластмасса, которая даже при высоких температурах отличается своей прочностью и не изнашивается. Для подключения электрических проводов в пространстве бурового раствора были разработаны миниатюризированные контакты для ввода кабельных жил.

* Чери Д., Кендел М., Салаи Й.